

ПІДНІМАННЯ ПЛАСТОВОГО ТИСКУ В ГАЗОКОНДЕНСАТНОМУ ПОКЛАДІ ЯК ФАКТОР ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЙОГО РОЗРОБКИ

На думку авторів можна відмітити два напрямки підвищення ефективності розробки газоконденсатних родовищ за рахунок піднімання пластового тиску. Перший (геологічний) – це уточнення запасів газу та конденсату; другий – це підвищення конденсатовилучення при сайклінг-процесі.

Щодо першого напрямку, то відомий ряд способів визначення запасів природного газу газоконденсатних покладів і родовищ. Розрізняють два основних методи підрахунку запасів газу – це: 1) об'ємний метод підрахунку запасів газу; 2) підрахунок запасів газу по падінню пластового тиску. Кожен з цих методів має свої переваги і недоліки.

Об'ємний метод дозволяє оцінити запаси газу на початкових стадіях розвідки та розробки покладів і родовищ, а його точність, в основному, залежить від числа пробурених свердловин і адекватності визначення підрахункових параметрів, площі газоносності, ефективної газонасиченої товщини, пористості, газонасиченості, пластового тиску.

Підрахунок запасів газу за методом падіння пластового тиску можливий після відбору частини газу з покладу і його надійність тим вище, чим більше цей відбір. При цьому визначається тільки частина запасів газу, що дренується.

У даній роботі показана можливість оцінки запасів газу до початку розробки покладу шляхом підйому в ньому пластового тиску закачуванням стороннього газу. По суті, це використання зворотного алгоритму методу підрахунку запасів газу по падінню пластового тиску. Щодо другого напрямку, то він є піонерським, тому що наразі ніде не використовувався.

Ключові слова: поклад, газ, запаси, пластовий тиск, конденсатовилучення.

И.М. Фик, И.М. Фик. ПОДЪЯТИЕ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ В ГАЗОКОНДЕНСАТНОЙ ЗАЛЕЖИ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕЁ РАЗРАБОТКИ. По мнению авторов можно выделить два направления повышения эффективности разработки газоконденсатной залежи за счёт подъёма пластового давления до начала её разработки. Первое (геологическое) – это уточнение запасов газа и конденсата; второе – это повышение конденсатоотдачи при сайклинг-процессе.

Что касается первого направления, то известны ряд способов определения запасов природного газа газоконденсатных залежей и месторождений. Различают два основных метода подсчёта запасов газа – это: 1) объёмный метод подсчёта запасов газа; 2) подсчёт запасов газа по падению пластового давления. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки.

Объёмный метод позволяет оценить запасы газа на начальных стадиях разведки и разработки залежей и месторождений, а его точность, в основном, зависит от числа пробуренных скважин и адекватности определения подсчётных параметров, площади газоносности, эффективной газонасыщенной толщины, пористости, газонасыщенности, пластового давления.

Подсчёт запасов газа по методу падению пластового давления возможен после отбора части газа из залежи и его надёжность тем выше, чем больше этот отбор. При этом определяется только дренируемая часть запасов газа.

В настоящей работе показана возможность оценки запасов газа до начала разработки залежи путем подъёма в ней пластового давления закачкой постороннего газа. По сути, это использование обратного алгоритма метода подсчёта запасов газа по падению пластового давления. Что касается второго направления, то оно является пионерским и нигде на практике не использовалось.

Ключевые слова: залежь, газ, запасы, пластовое давление, конденсатоотдача.

Вступ. Піднімання початкового пластового тиску в газоконденсатних покладах до цього часу ніде не здійснювалось – ні в Україні, ні у світі. На перший погляд це можна вважати абсурдним явищем і втратою товарного газу або іншого реагенту, що необхідно закачати в пласт до початку розробки родовища. Правда, слід зауважити, що піднімання пластового тиску у відпрацьованих газоконденсатних покладах має місце при формуванні та експлуатації підземних сховищ газу. При цьому технологія закачування газу в пласт відпрацьована на тринадцяти підземних сховищах газу в Україні та на родовищах, що розроблялись в режимі сайклінг процесів: Новотроїцькому, Тимофіївському, Котолевському та Куличіхінському. Виникає питання, яким чином піднімання пластового тиску в газоконденсатному покладі може вплинути на підвищення ефективності його розробки? Можна виділити, на думку авторів, два напрямки підвищення ефек-

тивності: перший (геологічний) – це уточнення запасів газу та конденсату; другий – це підвищення конденсатовилучення при сайклінг-процесі.

Щодо першого напрямку, то відомий ряд способів визначення запасів природного газу газоконденсатних покладів і родовищ. Розрізняють два основних методи підрахунку запасів газу – це: 1) об'ємний метод підрахунку запасів газу; 2) підрахунок запасів газу по падінню пластового тиску. Кожен з цих методів має свої переваги і недоліки.

Об'ємний метод дозволяє оцінити запаси газу на початкових стадіях розвідки та розробки покладів і родовищ, а його точність, в основному, залежить від числа пробурених свердловин і адекватності визначення підрахункових параметрів, площі газоносності, ефективної газонасиченої товщини, пористості, газонасиченості, пластового тиску.

Підрахунок запасів газу за методом падіння пластового тиску можливий після відбору частини газу з покладу і його надійність тим вище, чим більше цей відбір. При цьому визначається тільки частина запасів газу, що дренується.

У даній роботі показана можливість оцінки запасів газу до початку розробки покладу шляхом підйому в ньому пластового тиску закачуванням стороннього газу. По суті, це використання зворотного алгоритму методу підрахунку запасів газу по падінню пластового тиску.

Другий напрямок передбачає підвищення конденсатовилучення за рахунок піднімання пластового тиску вище початкового (або вище тиску початку конденсації).

Розробка родовищ із підтримуванням пластового тиску, наприклад при сайклінг-процесі, не забезпечує повного вилучення конденсату із пласта [1,2,4,5]. Кількість залишкового конденсату в покладі залежить від наступних факторів [3,6,7,8]:

- виду сайклінг-процесу (повний, частковий, ступінчастий);
- системи розробки, кількості та розміщення нагнітальних і видобувних свердловин;
- об'ємів закачування і відбору газу, ступеня та характеру розкриття пластів, репресії й депресії на пласт;
- коефіцієнта охоплення витісненням сирого газу сухим;
- випадання конденсату у привибійних зонах і воронці депресії видобувних свердловин.

Аналіз попередніх досліджень та публікацій. Перші чотири групи факторів - від виду сайклінг-процесу і до коефіцієнта охоплення - широко розглянуті в літературі [1,2,3,9] і вже використовуються як регулюючі фактори у світовій практиці при розробці газоконденсатних родовищ України (Новотроїцьке, Котелевське і Тимофіївське). Що ж до останнього фактора і проблеми випадання конденсату у привибійних зонах і депресійних воронках свердловин, то її вирішення можливе двома способами:

перший – це вилучення конденсату, який вже випав у пласті в результаті розробки; спосіб відомий, широко наведений в літературі і використовується на практиці [10,11,12];

другий – це запобігання випаданню конденсату у пласті у процесі розробки, запропонований авторами [1,2,3].

Уявляється більш прогресивним другий шлях, бо нащо спочатку вести розробку з випаданням конденсату, а потім займатись його вилученням, якщо є можливість запобігти випаданню конденсату у при вибійних зонах і воронці депресії відразу, з початку розробки газоконденсатного покладу.

Виклад основного матеріалу.

Щодо першого (геологічного) напрямку підвищення ефективності і підрахунку запасів.

1. Відомі технології і способи підрахунку запасів газу по падінню пластового тиску.

Серед способів підрахунку запасів газу існує спосіб підрахунку запасів газу по падінню пластового тиску в покладі, широко відомий в літературі, і як такий, що широко використовується на практиці [13,14,15].

В загальному вигляді формула для підрахунку запасів газу на практиці має вигляд [16]:

$$W_{\text{поч}} = \frac{Q_{\text{пот}}}{\frac{P_{\text{поч}}}{Z_{\text{поч}}} - \frac{P_{\text{пот}}}{Z_{\text{пот}}}} \times \frac{P_{\text{поч}}}{Z_{\text{поч}}} \quad (1)$$

де $W_{\text{поч}}$ – початкові запаси газу;

$Q_{\text{пот}}$ – поточний відбір газу;

$P_{\text{поч}}$; $P_{\text{пот}}$ – початковий та поточний пластові тиски в покладі;

$Z_{\text{поч}}$; $Z_{\text{пот}}$ – коефіцієнти стисливості початковий і поточний відповідно.

Проте, для використання цього способу необхідно відібрати частину газу із покладу, що приведе до випадіння значної кількості конденсату в пласті.

2. Підрахунок запасів

при підвищенні пластового тиску

Однак, в практиці розробки, особливо, газоконденсатних родовищ може виникнути необхідність починати розробку не з відбору газу, а з його закачування, таким чином збільшуючи пластовий тиск, що забезпечить попередження випадіння конденсату в привибійній зоні свердловини і депресійної воронці.

При цьому формула підрахунку загальних запасів (з урахуванням закачаних) шляхом піднімання пластового тиску приймає вигляд:

$$W_{\text{збільш}} = \frac{Q_{\text{зак}}}{\frac{P_{\text{збільш}}}{Z_{\text{збільш}}} - \frac{P_{\text{поч}}}{Z_{\text{поч}}}} \times \frac{P_{\text{збільш}}}{Z_{\text{збільш}}} \quad (2)$$

де $W_{\text{збільш}}$ – загальний запас газу у покладі після закачування газу;

$Q_{\text{зак}}$ – об'єм закачки газу в поклад;

$P_{\text{збільш}}$; $P_{\text{поч}}$ – підвищений і початковий тиски в покладі;

$Z_{\text{збільш}}$; $Z_{\text{поч}}$ – коефіцієнти стисливості при збільшеному і початковому тиску, які знаходять згідно рекомендацій робіт [15,17].

При цьому початкові запаси розрахуємо по формулі

$$W_{\text{поч}} = W_{\text{збільш}} - Q_{\text{зак}} \quad (3)$$

3. Приклад і основа практичного використання

Розглянемо всі наведені параметри на прикладі покладу горизонту Т-1 блок II Куличихівського газоконденсатного родовища, де планували піднімати пластовий тиск до початку сайклінг-процесу [2].

Ідея підвищення пластового тиску до почат-

ку сайклінг-процесу базується на основі співвідношення.

$$\Delta P = P_{\text{пл}}^{\text{збільш}} - P_{\text{пл}}^{\text{поч}} (P_{\text{пк}}) \quad (4)$$

де ΔP – депресія на пласт при збільшенні пластового тиску;

$P_{\text{пл}}^{\text{збільш}}$ – збільшений пластовий тиск за рахунок закачаного стороннього газу;

$P_{\text{пл}}^{\text{поч}} (P_{\text{пк}})$ – початковий пластовий тиск рівний тиску початку конденсації.

Вказана технологія піднімання пластового тиску в покладі забезпечує попередження випадіння конденсату в при свердловинній зоні при умові що:

$$\Delta P \leq P_{\text{пл}}^{\text{збільш}} - P_{\text{пк}} \quad (5)$$

Однак дана технологія дозволяє не тільки попередити випадіння конденсату в пласті і при вибійних зонах свердловин, але і порахувати поточні і початкові запаси газу по підвищенню пластового тиску з використанням формул 2 і 3, тим самим уточнивши їх ще до початку розробки покладу

4. Приклад розрахункової моделі

Використаємо розрахункову модель з наступними параметрами, для II блоку горизонту Т-1 Куличихівського нафтогазоконденсатного родовища.

Основні вихідні дані другого блоку горизонту Т-1 для проектування розробки прийняті ДКЗ України:

- запаси газу за категорією C_1 - 1596 млн. м^3 ;
- запаси конденсату - 377 тис. т;
- конденсатний фактор - 246,5 $\text{г}/\text{м}^3$;
- пластовий тиск - 45,1 МПа.

Відомі:

$P_{\text{поч}} = 45,1$ МПа; $P_{\text{збільш}} = 46,6$ МПа; $Q_{\text{зак}} = 60$ млн. м^3 – об'єм закачаного стороннього газу.

Знайти: $W_{\text{поч}}$. Для простоти розрахунків приймемо, що $Z_{\text{поч}} = Z_{\text{збільш}} = 0,928$

Якщо розрахувати запаси по формулі 2, то отримаємо величину початкових запасів + об'єм закачаного газу ($Q_{\text{зак}}$).

$$W_{\text{ппт}} = \frac{60 \text{ млн. м}^3}{(46,6 - 45,1)} \times 46,6 \approx 1864 \text{ млн. м}^3$$

Тоді по формулі 3: $W_{\text{поч}} = W_{\text{ппт}} - Q_{\text{зак}} \approx 1804$ млн. м^3 .

Співставлення запасів затверджених ДКЗ із запасами підрахованими за способом піднімання пластового тиску показало, що останні дещо більші, ніж затверджені і можуть бути використані при розрахунках за різними варіантами розробки.

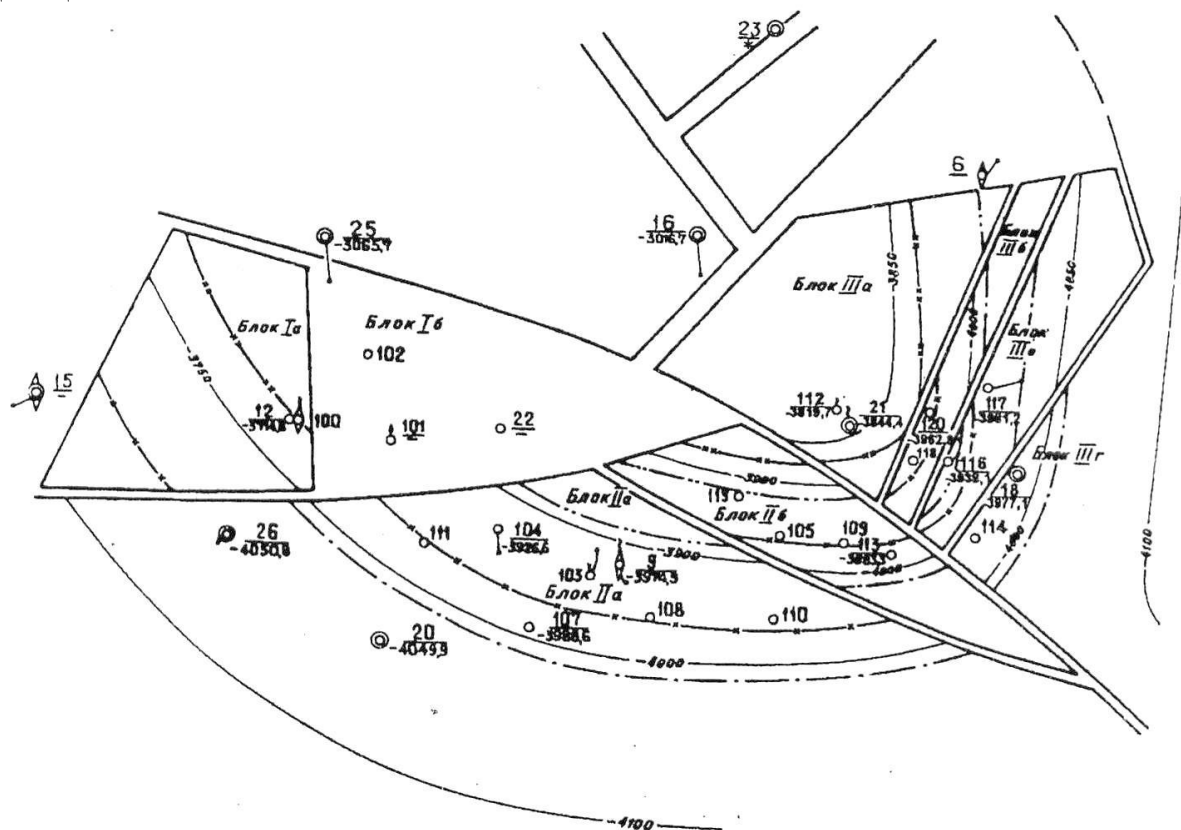


Рис. 1. Структурна основа і карта розробки Куличихівського нафтогазоконденсатного родовища (уточнено за результатами експлуатаційного буріння)

Щодо другого напрямку підвищення ефективності розробки газоконденсатних покладів шляхом піднімання пластового тиску слід за-

уважити, що в Україні будуть відкриватись, як правило, родовища з незначними запасами і високим вмістом конденсату, що дозволить засто-

совувати запропоновану технологію підвищення конденсатовилучення [19,20].

Аналіз співвідношення 4:5 дає можливість зробити висновок, що запобігти випаданню конденсату у привибійній зоні і депресійній воронці пласта можна двома шляхами:

- перший – знизити тиск початку конденсації;
- другий – підвищити пластовий тиск в газоконденсатній системі покладу.

Перший шлях практично неможливий, тому що не можна вплинути на газоконденсатну систему покладу по всьому його об'єму.

Другий шлях – підвищення пластового тиску в газоконденсатному покладі до початку розробки за певних умов може вважатися цілком можливим [2,9]. При цьому початковий пластовий тиск у покладі необхідно збільшити на величину депресії на пласт ΔP , щоб виконувались умови згідно формули 5.

Таким чином, суть способу запобігання випаданню конденсату у привибійних зонах і воронках депресії свердловин полягає у піднятті пластового тиску до початку розробки, з подальшим використанням сайклінг-процесу при підвищеному пластовому тискові.

Для реалізації способу необхідно:

- здійснити вибір газоконденсатного покладу, який відповідав би необхідним геолого-промисловим умовам;
- розбурити поклад, починаючи з нагнітальних свердловин;
- підвищити пластовий тиск у газоконденсатному покладі шляхом нагнітання сухого газу з газопроводу або інших покладів через нагнітальні свердловини;
- величину підвищення тиску вибирають з розрахунку, щоби вибійний тиск у видобувних свердловинах у період сайклінг-процесу залишався вищим тиску початку конденсації;
- контроль за підвищенням пластового тиску проводять у видобувних свердловинах, які в період збільшення тиску виконують функції спостережних;
- після досягнення заданої величини пластового тиску провадять сайклінг-процес без випадання конденсату у привибійних зонах свердловин.

На рис. 2 наведено схему розподілення тиску між видобувними та нагнітальними свердловинами при здійсненні звичайного сайклінг-процесу (крива 1) і сайклінг-процесу після підвищення пластового тиску (крива 2). З рисунка видно, що, якщо здійснюється сайклінг-процес при початковому тиску ($P_{пл}$) рівному тискові початку конденсації ($P_{пк}$), то біля видобувних свердловин з'являється зона випадання конденсату

безпосередньо у пласті за рахунок зниження вибійного тиску (P^1_v) і створення воронки депресії з меншим тиском, ніж тиск початку конденсації ($P_{пк}$).

Якщо здійснювати сайклінг-процес з підвищеним пластовим тиском ($P_{птт}$) за умови, що тиск на вибоях видобувних свердловин (P^2_v) буде вищий за середній тиск початку конденсації, тобто $\Delta P_2 \leq P_{птт} - P^2_v$, при $P^2_v \geq P_{пк}$ то це запобігатиме випаданню конденсату у пласті, оскільки тиск у покладі на всій відстані від нагнітальних до видобувних свердловин буде вищий за тиск початку конденсації (крива 2).

На рисунку також схематично показано, що попереднє нагнітання сухого створює зону сирого газу з підвищеним пластовим тиском навколо видобувних свердловин. Навколо нагнітальних свердловин створюється зона з сухого газу.

Крім підвищеного конденсатовилучення за рахунок запобігання випадінню конденсату у воронках депресії та привибійних зонах пласта, ефективність розробки зростає також за рахунок збереження високих фільтраційних характеристик привибійних зон видобувних свердловин на весь період розробки покладу, оскільки поява і накопичення рідини будуть відсутні.

Об'єктом проектування нових технологій було вибрано Куличихінське родовище (II блок, горизонт Т-1).

Було розглянуто три варіанти розробки:

I – підняття пластового тиску до початку сайклінг-процесу, проведення сайклінг-процесу при підвищеному пластовому тискові і відбір нафти з нафтової облямівки з переходом на ступінчастий сайклінг-процес і виснаження;

II – звичайний сайклінг-процес при поточному пластовому тискові з відбором нафти з нафтової облямівки і наступним виснаженням;

III – розробка на виснаження з одночасним відбором нафти з нафтової облямівки.

Коефіцієнт охоплення витісненням сирого газу сухим за площею відношення площі, оконтуреної видобувними свердловинами, до загальної площі газоконденсатного покладу згідно з прийнятою системою розміщення свердловин становить 0,8.

Розрахунки показали, що використання ступінчастого сайклінг-процесу з підвищенням пластового тиску до початку розробки покладу дасть можливість в цілому для покладу горизонту Т-1 збільшити коефіцієнт конденсатовилучення з 0,29 (при розробці на виснаження) до 0,68. При звичайному повному сайклінг-процесі коефіцієнт конденсатовилучення дорівнюватиме 0,47. Початковий видобуток конденсату завдяки новим технологіям у порівнянні зі звичайним сайклінг-процесом по другому блоку становити-

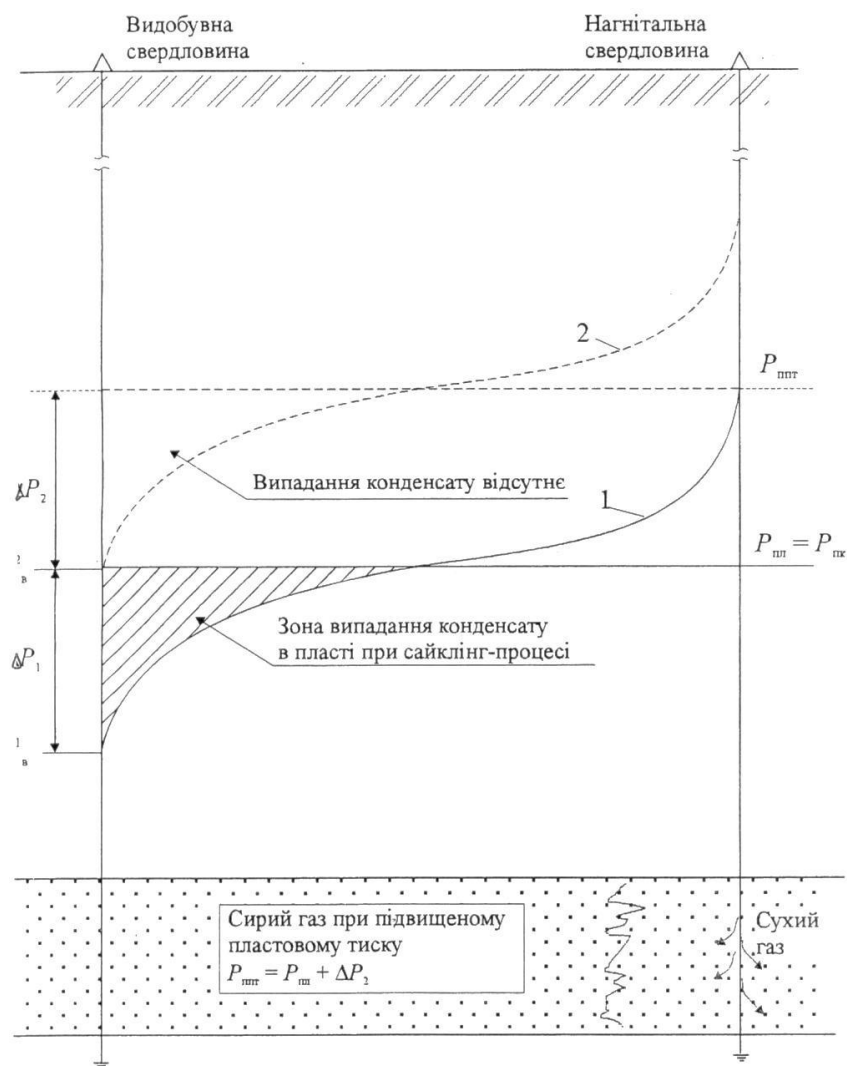


Рис. 2. Схема розподілу тиску між видобувними і нагнітальними свердловинами: крива 1 – при звичайному сайклінг-процесі; крива 2 – при сайклінг-процесі після підняття пластового тиску

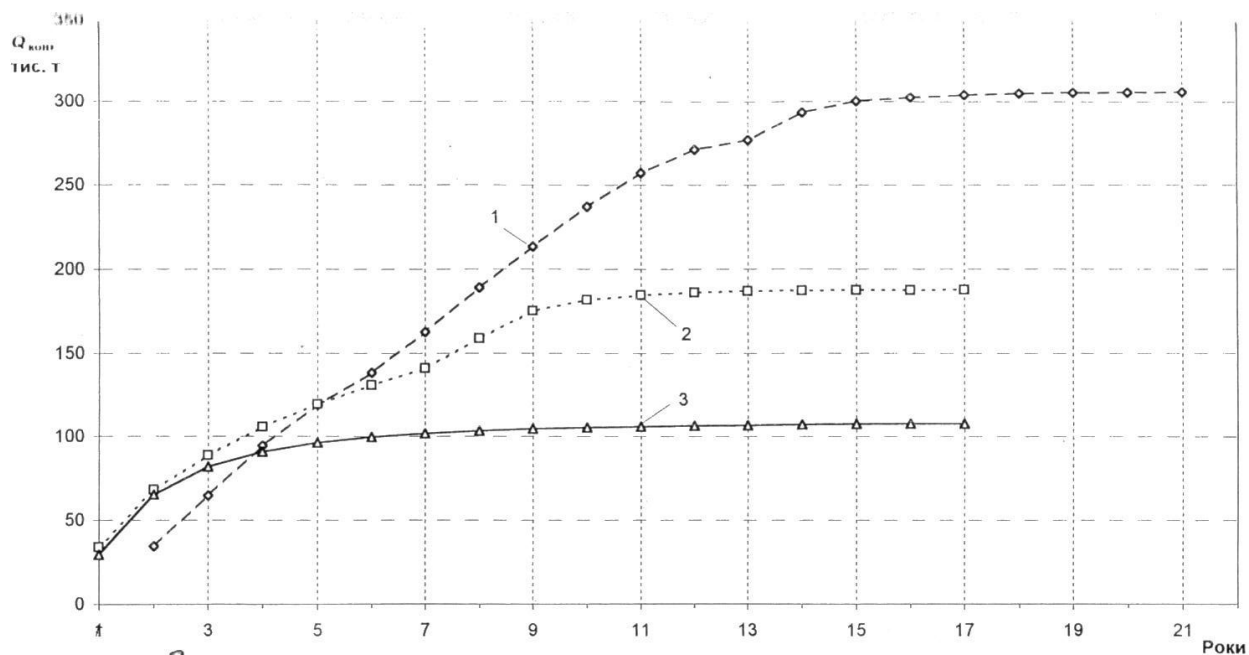


Рис. 3. Порівняння видобутку конденсату з другого блоку за варіантами розробки: 1 – ступінчастий сайклінг-процес з попереднім підвищенням пластового тиску; 2 – звичайний сайклінг-процес; 3 – розробка на виснаження

ме 118 тис. т.

Зміну видобутку конденсату в часі для другого блоку по варіантах наведено на рис. 3, з якого видно, що видобуток конденсату з використанням нових технологій в перші 3-4 роки близький до звичайних технологій, однак в подальшому істотно відрізняється як від розробки на виснаження, так і від звичайного повного сайклінг-процесу в 1,8-3 рази за таким важливим показником, яким є видобуток конденсату.

У світовій практиці в проектному варіанті було вперше запропоновано здійснити розробку газоконденсатного родовища з попереднім підніманням пластового тиску.

Таким чином, Куличіхінське нафтогазоконденсатне родовище могло стати полігоном для опрацювання нових технологій сайклінг-процесу надсвітового рівня і при цьому дати газовій га-

лузі України значний економічний ефект. Проте реально на цьому родовищі було здійснено звичайний сайклінг-процес з попереднім пониженням пластового тиску [2,3].

Висновки.

1) Наведений спосіб дає можливість розрахувати початкові запаси в газо-конденсатному покладі шляхом піднімання пластового тиску до початку виснаження або проведення сайклінг-процесу.

2) Спосіб дозволяє попередити випадіння конденсату як в пласті так і в при-вибійних зонах свердловин в період сайклінг-процесу.

3) Спосіб може бути використаний на підземних сховищах газу для оцінки запасів як активного так і буферного газів, але це вже в наступній статті.

Література

1. Фик І.М. Спосіб запобігання випаданню конденсату в пласті [Текст] / І.М. Фик // *Нафтова і газова промисловість*, 1997. – №3. – С. 21–23.
2. Фик І. М. Проектні рішення з новими технологіями на Куличіхінському нафтогазоконденсатному родовищі [Текст] / І.М. Фик // *Нафтова і газова промисловість*, 1997. – №5. – С. 25–27.
3. Фик І.М. Нові модифікації сайклінг-процесу [Текст] / І.М. Фик // *Матер. 5-ї Міжнар. конф. УНГА «Нафта–Газ України 98»*. – Т. 2. – Полтава, 1998. – С.83–84.
4. Чорний О.М. Метод видобування зацепенного і розчиненого газу з підвищенням тиску газу а стволі свердловини [Текст] / О.М. Чорний // «Нафтогазова геофізика – стан і перспективи» міжнародна науково-практична конференція (Івано–Франківськ, 25–29 травня 2009). – Івано– Франківськ, 2009. – С. 273–275.
5. Чорний М.І. Геологічні основи розкриття і випробування продуктивних пластів [Текст] / О.М. Чорний, І.М. Метюшон, І.М. Кузів. – Івано–Франківськ, 2013. – 306 с.
6. Наукові основи вдосконалення систем розробки родовищ нафти і газу [Текст] / В.П. Гришаненко, Ю.О. Зарубін, В.М. Дорошенко та інші. – Київ, 2014. – 454 с.
7. Довідник з нафтогазової справи [Текст] / За заг. редакцією В.С.Бойко, Р.М. Конурата, Р.С. Яремійчука. – УФДТУНГ. – Львів, 1996.
8. Физика пласта и подземное хранение газа [Текст] / О.М. Ермолов, В.В. Ремизов, Л.И. Ширковский и др. – М.: Наука, 1996. – 541 с.
9. Іванішин В.С. Нафтогазопромислова геологія [Текст] / В.С. Іванішин. Підручник. – Львів, 2003. – 648 с.
10. Бітумонафтогазогеологічне районування, нафтові і газові родовища та підземні сховища газу України [Текст] / О.О. Орлов, І.М. Фик, В.С. Бондарчук, А. П. Мазур // За ред. Доктора геолого–мінералогічних наук, професора О. О. Орлова. – Івано–Франківськ: Симфонія форте, 2015. – 540 с.
11. Степанова Г.С. Фазовые превращения в месторождениях нефти и газа [Текст] / Г.С. Степанова. – Москва: Недра, 1983. – С.104–116.
12. Савків Б.П. Створення та експлуатація підземних сховищ газу [Текст] / Б.П. Савків, С.О. Пінчук. – Київ: «Світ успіху», 2013. – 315 с.
13. Жданов М.А. Нефтепромысловая геология и подсчет запасов нефти и газа [Текст] / М.А. Жданов. – Москва: Недра, 1970. – 486 с.
14. Корбанова В. Н. Петрофизика. Учебник для вузов [Текст] / В. Н. Корбанова. – М.: Недра, 1986. – 392 с.
15. Фык М.И. Петрофизика нефтегазовых коллекторов и флюидоупоров. Учебник [Текст] / М.И. Фык, С.И. Горелик, Я.А. Раевский. – Харьков: Фолио, 2015. – 222 с.
16. Фык М.И. Основы разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений. Учебное пособие [Текст] / М.И. Фык. – Харьков, 2015. – 251 с.
17. Инструкция по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных пластов и скважин [Текст]. – М: Недра, 1980. – 301 с.
18. Солдатков С.Г. Энергосберегающие технологии утилизации пластовых потерь газа при эксплуатации ПХГ [Текст] / С.Г. Солдатков, И.В. Марушенко, С.А. Воронов // *Газовая промышленность*, 2010. – №9. – С. 63–65.
19. Снарский А.Н. Геологические основы физики пласта [Текст] / А.Н. Снарский. – Киев: Гос. изд-во техн. лит. УССР, 1961. – 248 с.
20. Фык И.М. Подсчет промышленных запасов газа объемным методом при активном водонапорном режиме [Текст] / И.М. Фык // *ЭИ ВНИИгазпром. Сер. Геология, бурение и разработка газовых м-й*. – Вып. 13. – 1982. – С. 8–12.